
Radiální rychlost z analýz telurických čar

F4191: Praktikum z astronomie 2

Artem Gorodilov

20. prosince 2024

1. Abstrakt

V této práci jsem analyzoval tři spektra. Dvě z nich patřila stejnému objektu FVScO a jedno objektu HD64740. Spektrum FVScO-04_44.fits byl získán pomocí dalekohledu ESO 1.52 s expoziční dobou 1800 s. Spektrum FVScO-209_06.fits byl získán přístrojem FEROS umístěným na dalekohledu MPG/ESO 2.2, expoziční doba 800 s. Spektrum HD64740_010r_26.wl.fits byl získán přístrojem HARPS namontovaným na dalekohledu ESO 3.6.

Všechna pozorování byla provedena na observatoři La Silla.

Výpočty byly provedeny pomocí skriptu v Pythonu^[1].

kým pak lze využít k měření Dopplerova posuvu, a tím i k určení radiální rychlosti hvězdy.

Tato metoda je obzvláště užitečná v infračerveném oboru spektra, kde jsou telurické čáry výrazné, ale vyžaduje přesnou kalibraci a modelování, aby byly atmosférické vlivy správně odstraněny.

Radiální rychlost v lze určit na základě znalosti Dopplerova posuvu emisních/absorpčních čar ve spektru.

$$v = c \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \right) \quad (1)$$

2. Úvod

Tellurické čáry ve spektru jsou absorpční čáry způsobené molekulami v zemské atmosféře, jako je kyslík, voda nebo oxid uhličitý. Tyto čáry se objevují ve spektru hvězd, když světlo prochází atmosférou Země, a jejich poloha je pevně vázána na radiální rychlost pozorovatele vůči Zemi.

Pro určení radiální rychlosti je možné porovnat spektrum hvězdy s telurickými čarami. Protože tyto čáry mají známou a stabilní vlnovou délku, slouží jako referenční body. Posun hvězdných čar vůči teluric-

kde v je radiální rychlost, c je rychlost světla, λ je pozorovaná vlnová délka a λ_0 je vlnová délka v klidu.

3. Zpracování dat

Pro analýzu jsem vybral 13 telurických čar:

Wavelength [Å]	Error [Å]
6872.251067289	0.001389138
6872.847125	0.001454657
6873.799370429	0.000906929
6874.656798427	0.001888834
6875.595932656	0.001745727
6876.718607378	0.001676247
6877.641205911	0.001243355
6879.044460945	0.000592694
6879.932394473	0.001248727
6883.835594122	0.000853233
6885.757979289	0.006408733
6886.746071429	0.000615678
6888.950940989	0.005895951

Soubory fitů obsahovaly informace o intenzitách, ale žádné údaje o vlnových délkách odpovídajících těmto intenzitám. Pomocí parametru CRVAL1 (počáteční vlnová délka) a CDELTA1 (krok vlnové délky) jsem vytvořil pole vlnových délek pro konstrukci spektra.

Spektra jsem normalizoval pomocí funkce `normalize_to_continuum()`. Tato funkce normalizuje celé kontinuum spektra v závislosti na jeho tvaru. Funkce používá mediánové fitování. Vyžaduje výpočet velikosti okna, které odpovídá 10násobku šířky zájmových spektrálních řádů. K nalezení optimálního okna jsem použil funkci `find_optimal_window()`.

Poté jsem vybral část spektra v rozsahu 6872.25-6888.95 Å. V této části spektra jsem určil minima hodnot intenzity (absorpční čáry), poté jsem provedl polynomičké fitování absorpčních čar, abych přesněji určil střed čáry.

Normalizovaná spektra a část spektra použitá pro analýzu jsou vidět na obrázcích (1) a (2). Kvalita fitování je ukázána na příkladu dvou čar na obrázku (3).

Poté jsem z Dopplerova posunu pro jednotlivé čáry vypočítal radiální rychlosti a

následně jsem pro každé spektrum vypočítal průměrnou radiální rychlost.

Chyby byly určeny z chyb daných tellurických linií a také z individuálních chyb po fitování a výpočtu průměru.

K výpočtu veličin a jejich nejistot byla použita knihovna `Uncertainties` pro Python. Chyby byly rozšířeny o Studentův koeficient (2-Tail Confidence Level) s ohledem na stupně volnosti pro každou hodnotu, pro interval spolehlivosti 68.27%.

4. Výsledky

Získal jsem následující výsledky radiálních rychlostí objektů:

$$v_{\text{FVScO-04_44}} = -23374 \pm 167 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{FVScO-209_06}} = 40 \pm 118 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{HD64740_010r_26}} = -12 \pm 91 \text{ m s}^{-1}$$

Změny hodnot rychlostí pro každou linii jsou znázorněny na obrázku (4).

5. Závěr

Porovnáme-li získané výsledky s výsledky uvedenými v headeru souboru, vidíme, že rychlosti pro spektrum FVScO-04_44 a spektrum HD64740_010r_26 bez zohlednění chyb vůbec neshodují. Pro spektrum FVScO-209_06 se již hodnota poněkud blíží, vzhledem k ostatním.

$$v_{\text{FVScO-04_44, fits}} = -24.83 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{FVScO-209_06, fits}} = 28.35 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{HD64740_010r_26, fits}} = -99999 \text{ m s}^{-1}$$

Připouštím, že u spektra HD64740_010r_26 jsem mohl najít hodnotu rychlosti ve špatném parametru

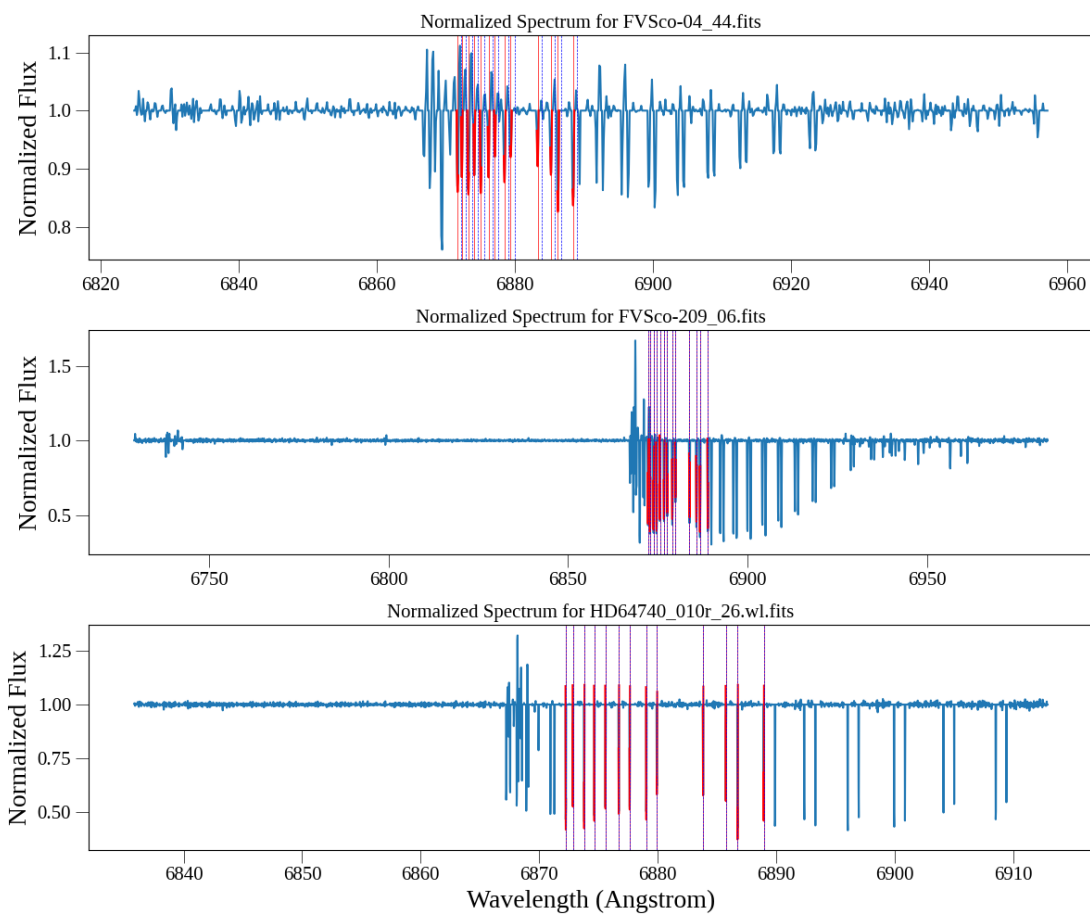
(u FVSc0-04_44 a FVSc0-209_06 byly údaje o radiálních rychlostech v parametrech VHELIO a u třetího ve HIERARCH ESO TEL TARG RADVEL). Když už mluvíme o dvou spektrech objektu FVSc0, zdá se mi nelogický takový rozdíl v radiální rychlosti. Mohu se domnívat, že u jednoho z nich mohla být provedena heliocentrická korekce, ale u druhého ne.

Obecně lze konstatovat, že spektrální rozlišení se spektrum od spektra zvyšuje, což jistě odráží vlastnosti přístroje, ze kterého byly pozorovány. Spektrum FVSc0-04_44 je silně ovlivněno efektem splývání čar. Ten ztěžuje přesné určení polohy středu čáry, což vede k velké chybě. V ostatních spektrech bylo rozlišení velmi přijatelné.

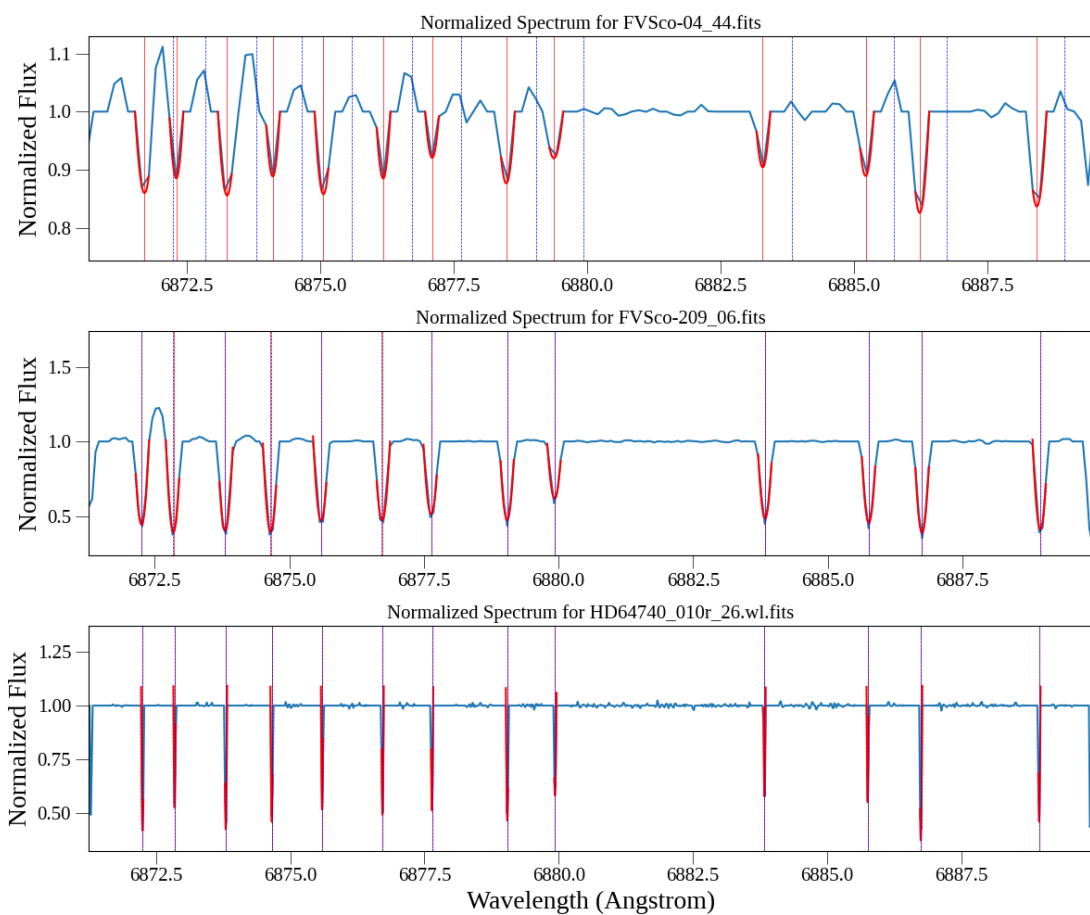
Větší vzorek telurických čar by mohl pomoci získat spolehlivější výsledky a snížit chybu. Byl jsem omezen na pouhých 13. A také použití specializovaného softwaru, který může poskytnout přesnější výsledky pomocí sofistikovanějších metod zpracování spekter (IRAF?).

Reference

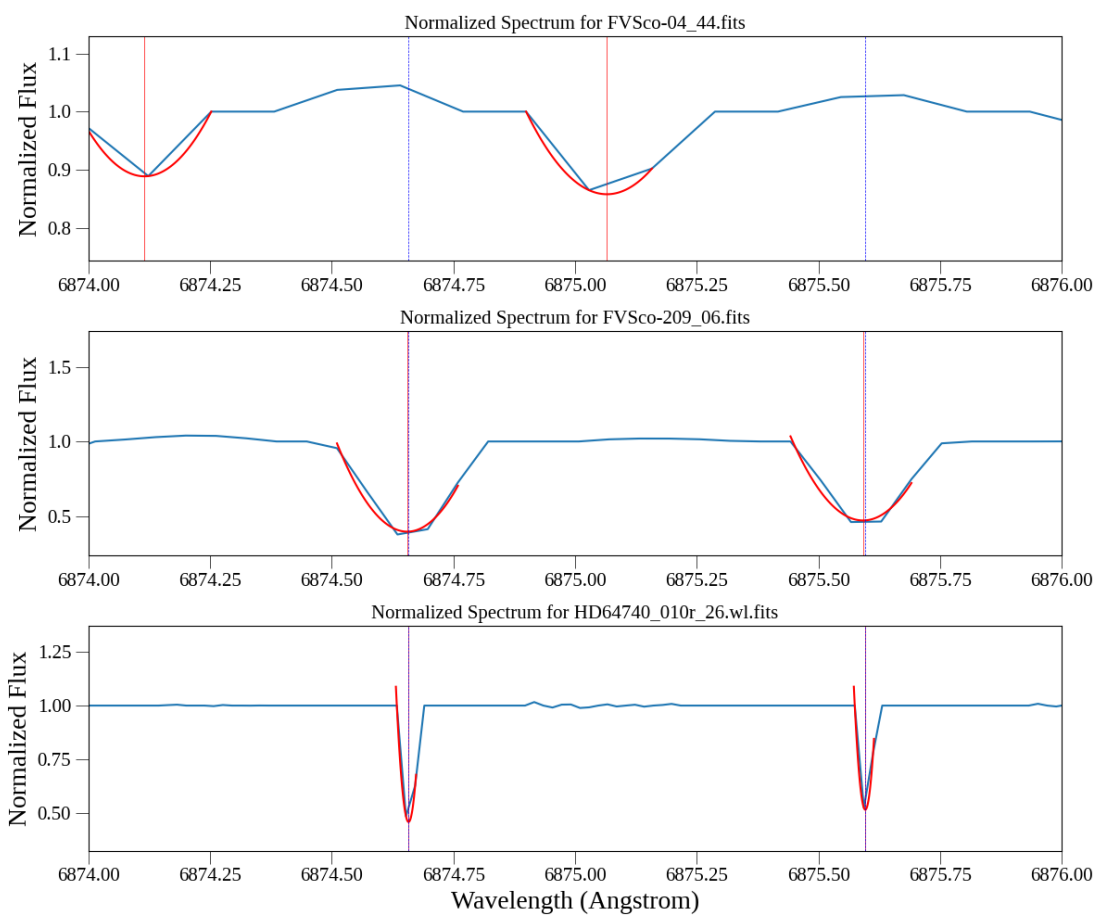
- [1] PoruchikRzhevsky. Prakticka-astrofyzika. <https://github.com/PoruchikRzhevsky/Prakticka-astrofyzika>.



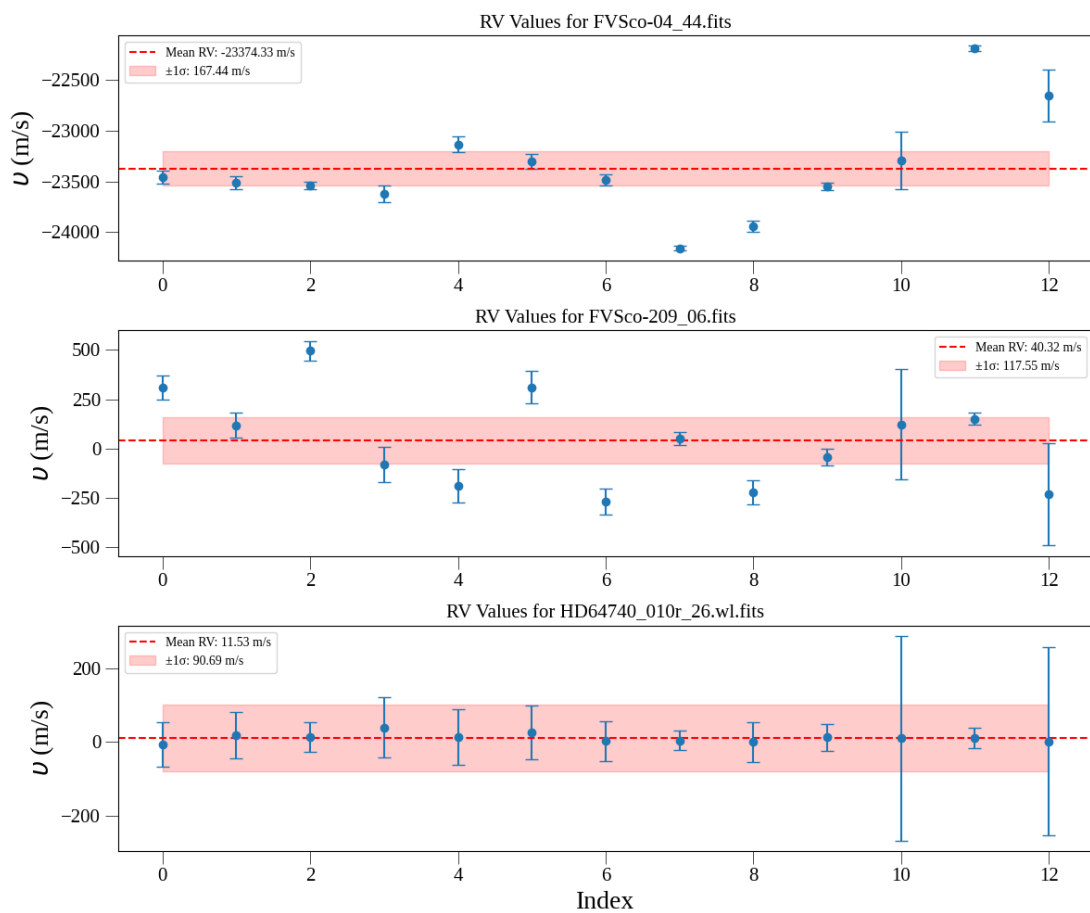
Obrázek (1) Normalizovaná FVSc0-04_44.fits, FVSc0-209_06.fits a HD64740_010r_26.wl.fits



Obrázek (2) Část spektra použitá pro analýzu



Obrázek (3) Fitování absorpčních čar



Obrázek (4) Radiální rychlosti pro jednotlivé čáry